

УДК 620.19

НЕКОТОРЫЕ УРОКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ТРУБЫ ГЛАВНОГО ПАРОПРОВОДА КРЕЙСЕРА «ПЕТР ВЕЛИКИЙ»

Г. Н. Филимонов, В. Н. Павлов, И. А. Повышев
ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей», С.-Петербург

В настоящей работе выполнен комплекс научных исследований по анализу и оценке причин разрушения трубы главного трубопровода в носовом машинно-котельном отделении крейсера «Петр Великий» во время сдаточных ходовых испытаний. Наряду с проведенными экспертными материаловедческими исследованиями был выполнен тщательный анализ всей конструкторской, нормативно-технической, технологической и отчетно-контрольной (паспортной) документации на изготовление и сдачу полуфабрикатов (трубы и поковки фланцев), трубных элементов (гибка труб и приварка фланцев), монтаж паропровода, условия работы и сдаточные испытания трубных элементов в период постройки корабля, а также анализ обстоятельств сварки и осмотр состояния трубной системы после аварии и демонтажа разрушенного участка на месте.

Кроме того, специалисты ЦНИИ КМ «Прометей» принимали участие в работе Межведомственной комиссии, а также ряде совещаний, в частности, по изменению конфигурации, размеров и согласованию материалов труб для замены снятых с корабля (рис.1), по осуществлению дополнительных мероприятий, обеспечивающих выявление причин аварии и недопущение их впредь.

Анализ полученных результатов показывает, что трубные элементы были выполнены из кондиционных материалов, проконтролированы предписанными методами, испытаны внутренним давлением, более, чем вдвое превышающим проектное давле-

ние, но тем не менее трубопровод разрушился при ходовых испытаниях.

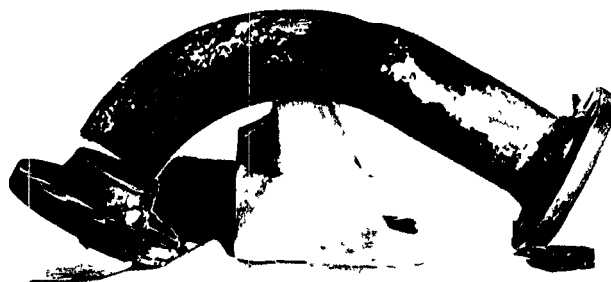


Рис. 1. Общий вид разрушившейся трубы (Ø 135x5) системы главного пара.

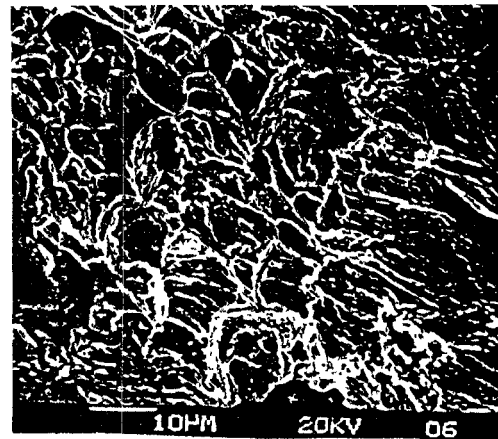
И здесь прежде всего следует обратить внимание на тот факт, что разрушение трубопровода произошло в системе, специально предусмотренной для предотвращения аварий. Если бы в системе главного паропровода не было трубопровода отвода избыточного пара в атмосферу на случай превышения давления в коллекторе главного пара, то не было бы и специального трубного элемента, а следовательно, и его разрушения. Отсюда следует заключить, что нужно очень ответственно подходить к проектированию судовых систем безопасности. В данном случае рассматриваемый трубопровод, входящий в систему оборудования второго контура, необходимо было проектировать в соответствии с требованиями «Правил устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ» [1,2], а не по обычным (неатомным) правилами на судовые энергоустановки.

При этом следует отметить, что по правилам судостроения был спроектирован

и ряд других труб системы. Небольшое, но важное отличие заключалось только в том, что размеры сечения всех остальных труб (т.е. труб, подводящих пар к коллектору, отводящих пар от турбины и др.) были значительно больше, чем у разрушенной трубы. Почему конструктор так сильно уменьшил диаметр трубы? Лишь только потому, что окно в разделительной палубной перегородке не соответствовало необходимым размерам, и конструктор установил более низкую категорию этой трубы, т.е. сделал ее забойной (без чертежа), а отсюда – малый диаметр и несоответствие требованиям рабочего чертежа. И здесь также кроется одна из причин разрушения этого ответственного участка системы главного паропровода по принципу: «где тонко - там рвется».

В то же время выполненные расчеты и тензометрические исследования [3] на борту судна по оценке напряженно-деформированного состояния трубопровода системы главного пара в рабочих режимах показали, что данный элемент паропровода не мог разрушиться при проектных режимах и при развитии аварийной ситуации даже при таких размерах и с таким утоньшением трубы, которое было допущено при зачистке сварного соединения при изготовлении. Следует напомнить, что элемент трубопровода не только успешно прошел заводские сдаточные гидроиспытания, но и успешно отработал в штатных условиях нагружения при ходовых испытаниях корабля и работе энергетической установки на полный ход. Аварийная ситуация возникла при дополнительных испытаниях работы энергоустановки с новой автоматикой в так называемом «совмещенном режиме».

Анализ выявленных обстоятельств показывает и подтверждает появление в системе трубопроводов во время экстремальных режимов работы паропроизводящей установки (ППУ) при ходовых испытаниях корабля неучтенного сверхрасчетного разрывающего усилия, которое привело к пластическому разрыву (рис. 2) ослабленного сечения трубы в зоне приварки к жестко-закрепленному фланцу.



х 300

Р и с . 2. Фрактограмма поверхности разрушения паропроводов (получена на растровом электронном микроскопе методом сканирования).

Таковыми силами могут быть:

- инерционные или резонансные силы;
- силы гидроудара (или парового взрыва).

Необходимо отметить, что после несрабатывания устройства автоматического управления работой энергоустановки, ППУ продолжала подавать пар в паропровод в полном объеме, что вызвало в магистрали резкое возрастание давления.

В системе главного пара имелось еще одно предохранительное устройство - клапан сброса давления в главный конденсатор. Обстоятельства сложились так, что в главный конденсатор перестала поступать вода, и функция сброса пара в необходимом объеме не была выполнена. Такое развитие нештатной ситуации обеспечило появление в паропроводе неучтенной растягивающей силы, значительно превышающей расчетную и достаточной для разрыва трубы в наиболее ослабленных сечениях. Через несколько секунд после подачи воды в главный конденсатор и повышения ее уровня по показаниям водомера появилась сильная вибрация и стуки в машинном отделении и последующий хлопок, сопровождающий разрушение. В данной ситуации возникновение разрывающего трубу усилия могло быть следствием гидроудара либо в результате вбрасывания большой массы воды в «запарившийся» главный конденсатор, либо

в результате открытия предохранительного клапана и взаимодействия пара с водяной пробкой в атмосферном трубопроводе за клапаном по причине недостатков конструкции дренажного устройства.

Таким образом, полученные результаты выполненной комплексной работы позволяют извлечь некоторые уроки в части проектирования и монтажа отечественных корабельных паропроводов:

- при проектировании паропроводов 2-го контура атомной энергетической установки недопустимо, когда разные участки одного и того же паропровода проектируются по разным правилам различных ведомств;

- при проектировании систем безопасности паропроизводящей установки следует обращать особое внимание материаловедов-прочнистов на совершенствование методик расчета трубных систем, работающих в сложных условиях эксплуатации судовых систем главного пара, тем более, что такие расчеты прежде всего необходимы для тех элементов трубопроводов, которые подпадают под требования правил эксплуатации АЭУ. При этом ни в коем случае не

следует считать эти паропроводы вспомогательными, т.к. надежность подобных систем должна быть не ниже, чем надежность систем главного пара, поэтому резонно поставить вопрос о ликвидации дублирующих систем безопасности;

- при анализе аварийных ситуаций необходимо определить ту главную силу, которая соответствует характеру разрушения аварийного элемента. При этом специалистам-прочнистам следует просчитать вероятность развития и уровень резонансных колебаний разрушившейся трубы, а также произвести анализ последствий гидроудара.

Библиографический список

1. ПНАЭ Г-7-008-89 «Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов АЭУ». – Энергоатомиздат, 1990.
2. ПНАЭ Г-1-011-89 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88)» – Энергоатомиздат, 1990.
3. Е. Ю. Нехендзи, Н. А. Лахов, К. Н. Пахомов и др. Исследование напряженно-деформированного состояния главного паропровода крейсера «Петр Великий»: Материалы 2-й Международной конференции по судостроению. С-Петербург, 1998

УДК 621 039

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СООТВЕТСТВИЯ ОСНОВНЫХ И СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОРПУСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ТРУБОПРОВОДОВ И АРМАТУРЫ ПЕРВОГО ЭНЕРГБЛОКА БУШЕРСКОЙ АЭС ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ РФ

В. П. Семенов, В. В. Орлов, В. А. Тизенгаузен,
И. В. Васильев, С. И. Володин, И. А. Повышев

*НТЦ «Атомтехэнерго», ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей»,
С.-Петербург*

Выполнен комплекс научно-исследовательских и поисковых работ по сопоставительному анализу соответствия основных и сварочных материалов поставки фирмы KWU для тепломеханического оборудования и арматуры 1-го энергоблока Бушерской АЭС требованиям Нормативной базы РФ [1-7]. Согласно указанной Нормативной базы (НБ) основные требования заключаются в следующем:

- материалы, применяемые для изготовления оборудования АЭС, должны обеспечивать его надежную работу в течение всего срока службы с учетом заданных условий эксплуатации;

- качество и свойства основных и сварочных материалов должны отвечать требованиям соответствующих стандартов или технических условий и подтверждаться сертификатами заводов-изготовителей.